

OBLICZENIA TŁUMIKA HAŁASU WYWOŁYWANEGO PRZEZ WYPŁYW GAZU POD DUŻYM CIŚNIENIEM

Komunikat

1. Wprowadzenie

Przedmiotem pracy jest tłumik stosowany w zaworach bezpieczeństwa sprężarek oraz instalacji przegrzanej pary wodnej. Przedstawiony materiał może być także przydatny przy projektowaniu tłumika broni strzeleckiej.

Projekt tłumika wymaga:

- starannego obliczenia kaskady poddźwiękowych stopni rozprężania gazu – Rys. 1.
- odpowiedniego podzielenia przekroju poprzecznego strumienia w poszczególnych stopniach – Rys. 2.

Praca poświęcona jest wyłącznie obliczeniom gazodynamicznym [1].

2. Przykład liczbowy

Obliczamy tłumik pięciostopniowy – tabl. 1, zależność (2) z ppkt. **Dodatek** przepisujemy w postaci:

$$\frac{p_i}{p_{i-1}} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M_i^2 \right)^{-\frac{k}{k-1}}$$

i dla $M_i=0,8$ otrzymujemy wartości $p_1/p_o = p_2/p_1 = p_3/p_2 = p_4/p_3 = 0,656$ dla powietrza i 0,664 dla przegrzanej pary wodnej, natomiast z zależności (5) wyznaczamy powierzchnie wylotu poszczególnych stopni.

W przypadku wylotu końcowego dla wartości $p_z/p_5 = 0,769$ dla powietrza i 0,667 dla przegrzanej pary wodnej z zależności (2) dostajemy odpowiednie wartości M_5 , po czym z zależności (4) wyznaczamy F_5 .

Tabl. 1 Wyniki obliczeń

	$p_o=1,1$ MPa $M_i=0,8 \quad i=1,2,3,4$		$p_z=0,1$ MPa $d_o=8$ mm	
	Powietrze $M_5=0,63$		Przegrzana para wodna $M_5=0,79$	
Stopień	p MPa	F mm ²	p MPa	F mm ²
1	0,72	76	0,73	75
2	0,47	117	0,49	113
3	0,31	178	0,33	169
4	0,20	271	0,22	254
5	0,13	441	0,15	407

Wyznaczenie liczby stopni

Posłużymy się przykładem liczbowym, najpierw zajmiemy się stopniem końcowym o parametrach M_n , p_n , przyjmujemy $M_n=0,5$ i z zależności (2) dla $p_z=0,1$ MPa, $k=1,4$ otrzymujemy $p_n=0,127$ MPa – tabl.2.

Następnie z zależności (2) dla wartości $M_i=\text{const}=0,9$, gdzie tym razem $i=n-1, \dots$ otrzymujemy kolejne wartości p_i , widać z tabl.2, że jeśli ciśnienie początkowe wynosi 1 MPa, to należy zastosować pięć stopni, w przypadku 3 MPa – aż siedem.

Przy projektowaniu rzeczywistego tłumika należy posłużyć się metodą kolejnych przybliżeń, wtedy zarówno M_i , jak i M_n zmieniają się w pewnym zakresie.

Tabl. 2 Wyznaczenie liczby stopni

Numeracja pomocnicza	p MPa	Stopnie p_o MPa	
		3	1
n	0,127	7	5
n-1	0,215	6	4
n-2	0,365	5	3
n-3	0,618	4	2
n-4	1,048	3	4
n-5	1,776	2	
n-6	3,011	1	

Dodatek

Operujemy modelem gazu doskonałego w sensie termodynamicznym, wobec czego w rozpatrywanym wypadku występuje tylko jedna stała materiałowa, mianowicie, wykładnik izentropy $k=c_p/c_v$, który dla powietrza ma wartość 1,4, a dla przegrzanej pary wodnej czyli także dla gazów prochowych – wartość 1,33, gdzie c_p i c_v ciepła właściwe przy stałych ciśnienia i objętości.

Dla przepływu izolowanego – przepływ bez wymiany energii z otoczeniem i przy zerowej sile masowej – równanie energii można przedstawić jako:

$$\frac{T}{T_o} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right)^{-1} \quad (1)$$

gdzie T i T_o – temperatury statyczna i spiętrzenia, $M=v/a$ – liczba Macha, v i a – prędkości przepływu i dźwięku.

Dla przepływu izentropowego – przepływu izolowanego, w którym można zaniedbać tarcie – napiszemy jawne równanie izentropy $p/\rho^k=p_o/\rho_o^k$ i uwzględniając zależność (1) oraz równanie stanu $\rho = p/RT$ nadamy mu postać parametryczną – parametrem jest M –

$$\frac{p}{p_o} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right)^{\frac{-k}{k-1}} \quad (2)$$

$$\frac{\rho}{\rho_o} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right)^{\frac{-1}{k-1}} \quad (3)$$

gdzie p , ρ i p_o , ρ_o – parametry statyczne i spiętrzenia, R – indywidualna stała gazowa.

Przyjmując w zależności (2) $M=1$ dostajemy krytyczny stosunek ciśnień, który dla powietrza ma wartość 0,528, dla przegrzanej pary wodnej 0,54. Niech p_w , p_* i p_z oznaczają ciśnienia wylotowe, krytyczne i zewnętrzne; podczas wypływu ze zbiornika przez otwór lub dyszę zbieżną możliwe są następujące wypływy:

- $p_w=p_z$ i $M<1$ – poddźwiękowy,
- $p_w=p_z$ i $M=1$ – krytyczny,
- $p_w=p_*>p_z$ i $M=1$ – krytyczny z rozprężaniem poza wylotem, wówczas powstaje zogniskowana fala rozrzedzeniowa, która współdziałając z otoczeniem może powodować pulsacje przepływu.

Korzystając z tabl. 1, równaniu ciągłości $\rho a M F = const$ sformułowanemu dla stopni 4 i 5 nadajemy stosowną postać, przy czym uwzględniamy, że dla przepływu izolowanego $T_o=const$

$$\frac{\rho_4}{\rho_{o4}} p_4 \sqrt{T_4} M_4 F_4 = \frac{\rho_5}{\rho_{o5}} p_5 \sqrt{T_5} M_5 F_5 \quad (4)$$

gdzie T_4/T_5 , p_4/p_5 , ρ/ρ_o są określone zależnościami od (1) do (3).

Dla $i=1... 5$ zależność (4) redukuje się do postaci

$$\frac{F_i}{F_{i-1}} = \left(\frac{p_i}{p_{i-1}} \right)^{-1} \quad (5)$$

Literatura

- [1] Tarnogrodzki A.: Dynamika gazów. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności Warszawa 2003.

